
SOFM을 이용한 센서 네트워크의 지능적인 배치 방식

정경권* · 엄기환**

Intelligent Deployment Method of Sensor Networks using SOFM

Kyung Kwon Jung* · Ki Hwan Eom**

요 약

본 논문에서는 센서 네트워크의 원활한 전송을 위해 SOFM을 이용한 센서 네트워크의 지능적인 배치를 제안한다. 제안한 방법은 무선 채널 분석을 통해서 센서 노드 사이의 통신이 가능한 거리를 구하고, 신경회로망의 SOFM(Self-Organizing Feature Map) 방식을 이용하여 지능적으로 최적의 센서 노드의 개수와 센서 노드가 배치할 최적 위치를 결정한다. Log-normal path loss 모델을 이용하여 거리에 따른 PRR(Packet Reception Rate)을 구하고, 이것으로부터 센서 노드의 통신 범위를 결정한다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 센서 노드의 지능적인 위치 탐색과 센서 네트워크의 연결 상태에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an intelligent deployment of sensor network for reliable communication. The proposed method determines optimal transmission range based on the wireless channel characteristics, and searches the optimal number of sensor nodes, and optimal locations with SOFM. We calculate PRR against a distance uses the log-normal path loss model, and decide the communication range of sensor node from PRR. In order to verify the effectiveness of the proposed method, we performed simulations on the searching for intelligent deployment and checking for link condition of sensor network.

키워드

Sensor network, Intelligent deployment, SOFM, Log-normal path loss model, PRR

I. 서론

유비쿼터스 환경에서 외부 환경의 감지와 제어 및 모니터링 기능을 수행하는 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network) 기술이 최근 활발히 연구되고 있다. 무선 센서 네트워크는 다양한 기능을 가진 센서가 부착된 전력소비가 적고 저가인 소형의 센서노드(Sensor Node)로 구성되고, 멀티-홉(multi-hop) 네트워크 형태를 구성

하여 베이스 노드로 측정된 데이터를 전송하게 된다. 센서노드는 데이터 수집을 위한 센서부분과 데이터를 처리하기 위한 중앙처리부분, 데이터를 전송하기 위한 라디오 부분, 기능을 유지시키기 위한 전력 공급부분으로 구성되어 있다. 이러한 센서 노드들은 ad-hoc 네트워크를 형성한 후 정보의 수집 및 처리를 통해 사용자가 원하는 서비스를 제공하는 방식을 취하고 있다[1].

무선 센서 네트워크는 군 작전, 인명구조, 지능형 홈

* 동국대학교 밀리미터파신기술연구센터

접수일자 : 2006. 8. 29

** 동국대학교 전자공학과

네트워크, 물류관리, 건물 모니터링 등 매우 광범위한 응용 분야에 사용될 수 있다. 이러한 센서 네트워크를 설계 하는데 있어 중요하게 고려되는 요소는 네트워크를 구성하고 있는 센서 노드들로부터 원하는 정보를 얻기 위해 안정적인 통신 거리, 경제적인 센서 노드의 개수, 전력 소모 등이다[1-3].

본 논문에서는 제한된 환경의 모니터링을 위해서 SOFM을 이용한 센서 노드의 지능적인 배치를 제안한다. 제안한 방법은 무선 채널 분석을 통해서 센서 노드 사이의 통신이 가능한 거리를 구하고, 신경회로망의 SOFM(Self-Organizing Feature Map) 방식을 이용하여 최적의 센서 노드의 개수와 센서 노드가 배치할 최적 위치를 결정한다. 무선 채널 분석은 log-normal path loss 모델을 이용하여 거리에 따른 PRR(Packet Reception Rate)를 구하고, 이것으로부터 센서 노드의 통신 범위를 결정한다. 학습을 통해서 원활한 통신이 이루어지도록 지능적으로 SOFM의 출력 뉴런을 증가시켜 가면서 최적의 센서 노드 개수와 최적의 배치 위치를 결정한다.

II. 센서 네트워크

무선 센서 네트워크는 물리적 데이터를 센서 노드에서 감지하고 측정하여 중앙의 노드(Base-station)에 전달하는 다수의 센서 노드로 구성되는 무선 네트워크이다. 노드간의 통신은 CSMA-CA를 기반으로 에드 혹 방식을 이용 무선 네트워크를 형성한다.

무선 센서 네트워크의 응용분야 중 특히 건물의 환경 모니터링을 위한 센서노드의 유선 설비는 기반시설(LAN, Router등)이 수반되어야 하므로 설치가 어렵고 번거로우며 많은 비용이 들기 때문에 설치가 간편하고 비용이 절감되는 등 많은 장점을 지닌 무선 센서 네트워크의 도입이 요구된다[2-3].

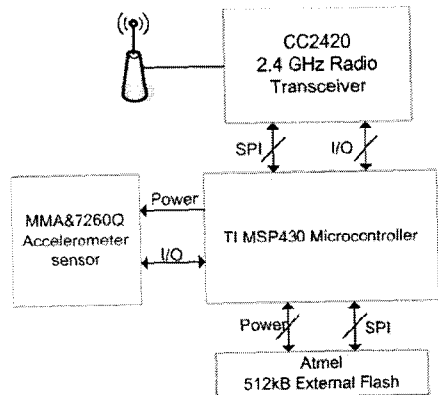
센서 네트워크 노드들의 하드웨어는 마이크로프로세서, 저장장치, 센서부, 통신부, 전원부로 구성되어진다. 센서 노드는 오랜 기간 동안 물리적 데이터를 센싱하고 무선 통신을 해야 하기 때문에 저전력 기술을 필요로 한다.

실험에 사용된 하드웨어는 그림 1과 같은 전자부품연구원에서 개발한 TIP50CM을 사용하였다. TIP50CM의 구성은 TI사의 MSP430 프로세서를 사용하였고 RF용 칩

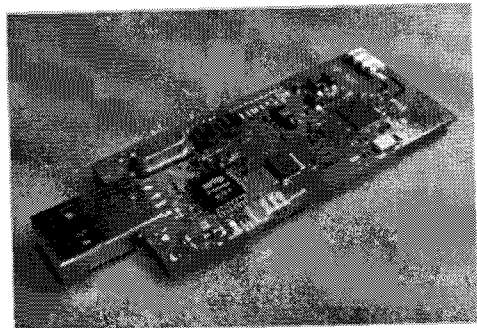
으로는 Chipcon사의 CC2420을 사용하였다. 제품의 스펙은 다음과 같다[4].

표 1. TIP50CM의 하드웨어 사양
Table 1. TIP50CM Hardware specifications

Item	Description
Processor	ATmega128 8bit RISC, 8MHz
Memory	128KB Program Flash
OS	TinyOS
Radio	Chipcon CC1000 868/916MHz
Data Rate	38Kbps
Sensor	온도, 습도, 조도
Network	Multi-hop & Ad-hoc
Interface	Serial(UART)
Power	3.0~3.3V
Range	15m in lab



(a) TIP50CM 블록선도



(b) TIP50CM 외형

그림 1. 센서 노드
Fig. 1. Sensor node

III. 2.4GHz 무선 채널 분석

2.4GHz 대역에서의 RF 신호의 전파(propagation) 특성을 통해 센서 노드의 전파 범위를 구하기 위해서 본 논문에서는 log-normal path loss 모델을 사용한다[5].

실내 환경에서의 log-normal path loss 모델의 파라미터를 구하기 위해 센서 네트워크의 송신기에서 일정한 전력으로 신호를 보내고, 스펙트럼 분석기를 통해 2.4 GHz 신호의 수신 전력을 측정한다.

Log-normal path loss 모델은 식(1)과 같다.

$$PL(d)[dB] = PL(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_{\sigma} \quad (1)$$

여기서 $PL(d_0)$ 는 기준 거리 1m에서의 path loss이고, n 는 path loss exponent로 거리 송신기와 수신기 사이의 거리 d 가 증가함에 따라 얼마나 빠르게 증가하는지를 나타내는 척도이다. X_{σ} 는 표준 편차가 σ 인 log-normal variable이다.

센서 노드를 설치할 건물 복도에서 거리를 변화시키면서 센서 노드 사이의 전송 전력을 측정한다. TIP50CM의 송신 전력은 무선 모듈이 최대 출력할 수 있는 전력인 0dBm(1mW)으로 설정하였다.

수신된 전력은 식(2)와 같이 나타낼 수 있고, 측정을 통해서 얻어진다. P_r 은 수신 파워이고, P_t 는 송신 파워이다.

$$P_r[dBm] = P_t[dBm] - PL(d)[dB] \quad (2)$$

RF 수신 파워 측정 데이터를 통해서 구한 log-normal path loss 모델은 그림 2와 같고, 파라미터는 표2와 같다.

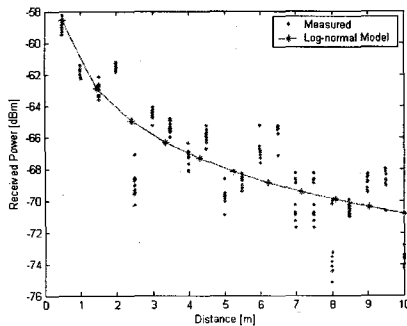


그림 2. 채널 모델링 결과
Fig. 2. Channel modeling result.

표 2. Log-normal path loss 모델 파라미터
Table 2. Log-normal path loss model parameters.

Path loss at 1m , $PL(d_0)$ [dBm]	Path loss exponent n	Standard deviation σ
61.903	0.8329	0.7924

두 센서 노드 사이에 패킷이 수신될 확률(PRR)을 계산하여 센서 노드의 전파 범위를 구한다.

패킷이 수신될 확률을 P 라 하면

$$P = (1 - P_e)^{f_b} \quad (3)$$

이고, 여기서 f_b 는 preamble, payload, CRC로 구성된 프레임 사이즈로 비트단위이다. P_e 는 비트 에러 확률(BER)이다.

TIP50CM의 RF 모듈인 CC2420은 O-QPSK (Offset-Quadrature Phase Shift Keying) 변조방식을 사용한다. 일반적으로 O-QPSK 방식의 BER은 식(4)와 같다 [5].

$$P_e = Q \left(\sqrt{2 \cdot \frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (4)$$

여기서 $Q(\cdot)$ 는 error function이고, E_b 는 비트 당 전송 에너지, 이고, N_0 는 1Hz 당 노이즈 전력이다. $SNR(d)$ 는 식(1)과 식(2)로부터 얻어진 거리 d 에 따른 SNR과의 관계는 식(5)와 같다.

$$SNR = \frac{E_b R}{N_0 B} \quad (5)$$

R 는 전송속도로 CC2420은 250kbps이고, B 는 시스템 대역폭으로 250kHz로 한다[6].

2.4GHz log-normal path loss 모델을 이용하여 패킷이 수신될 확률 P 를 구하면 그림 3과 같다. 이때 패킷 사이즈는 80바이트로 하였다.

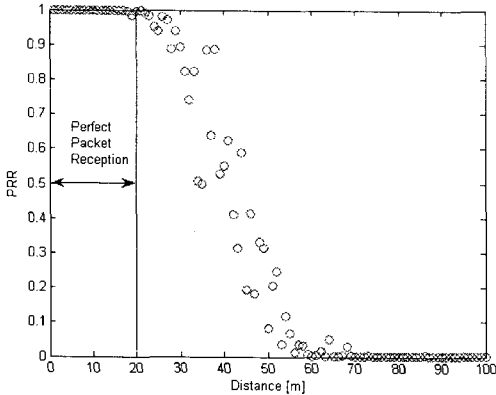


그림 3. 거리에 따른 패킷 수신 확률
Fig. 3. Distance vs. packet reception rate

그림 3에서 거리가 20m까지는 패킷 수신 확률이 1에 가까워 되어 보내는 패킷을 모두 수신할 수 있는 영역이라고 할 수 있으며, 실내 환경에서 원활한 데이터 전송을 위해서는 센서 노드 TIP50CM의 전파거리 r 을 20m로 설정한다.

전파 범위(radio range) r 내에서 센서 노드 사이에 통신이 가능하려면 그림 4(a)와 같이 전파반경 내에 다른 센서 노드가 위치해야 ad hoc이 가능하게 되고 그림 4(b)와 같이 형성되면 통신이 이루어 지지 않는다고 가정한다.

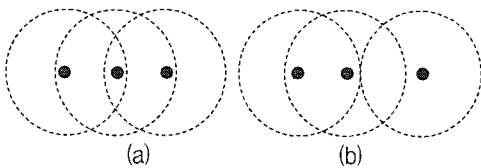


그림 4. 통신 범위
Fig. 4. Communication range.

IV. SOFM을 이용한 센서 노드의 최적 배치

센서 노드의 전파 범위가 정해진 후의 진행은 센서 노드를 어떤 위치에 효과적으로 배치하는가이다. 2.4GHz 무선 채널 환경이 데이터 전송에 영향을 미치지 때문에 데이터의 손실없는 전송이 이루어지는 위치의 탐색이 요구된다.

본 논문에서는 군집화(clustering) 알고리즘 중에서 비지도 학습 신경회로망인 SOFM을 이용하여 센서 노드가 놓일 수 있는 최적의 위치를 지능적으로 탐색한다.

SOFM의 구조는 그림 5와 같고, 각 입력 패턴 x 에 대

하여 고정 이웃 반경 내에서 연결 강도 m_j 는 식 (6)과 같이 조정한다[7].

$$m_j(t+1) = m_j(t) + h_{cj}[x - m_j(t)] \quad (6)$$

여기서 h_{cj} 는 이웃 반경 함수이고, c 는 best-matching node, j 는 승리뉴런이다.

SOFM의 입력을 센서 노드를 배치시킬 수 있는 좌표로 하면, 출력 뉴런의 특징지도는 최적의 센서 노드의 좌표가 될 수 있다.

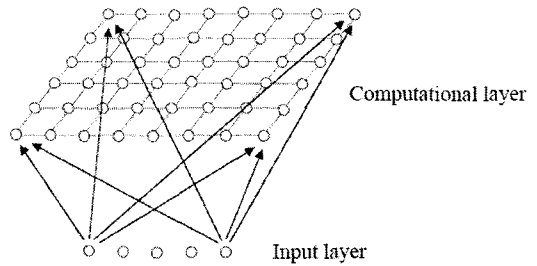


그림 5. SOFM 구조
Fig. 5. SOFM architecture.

센서 노드의 위치를 SOFM의 출력 뉴런과 대응시키고 인접 뉴런의 거리가 전파 범위를 벗어난 위치에 있으면 출력 뉴런을 추가하고, 학습을 수행하여 최적의 위치를 계산한다. 모든 뉴런의 위치가 전파 범위 내에 위치하면 학습을 종료한다.

제한한 학습 방식의 알고리즘은 다음과 같다.

- [1] 연결강도 초기화
- [2] 새로운 입력 벡터를 제시
- [3] 입력 벡터와 모든 뉴런들 간의 거리를 계산

$$D_j = \sum_{i=0}^{N-1} (x_i(t) - m_{ij}(t))^2$$
- [4] 최소 거리에 있는 출력 뉴런을 승리뉴런으로 선택
- [5] 승리뉴런과 그 이웃반경 내의 뉴런들의 연결강도를 재조정

$$m_{ij}(t+1) = m_{ij}(t) + \alpha[x_{i(t)} - m_{ij}(t)]$$

α 는 0과 1사이의 값을 가지는 학습률
- [6] 단계 2로 가서 반복
- [7] 학습 후 출력 뉴런간의 거리 d 를 계산하여 전파 범위 r 과 비교
 - $d > r$ 이면
출력 뉴런 개수를 증가시키고
단계[2]로 가서 학습 시작
 - $d \leq r$ 이면
학습 종료

V. 시뮬레이션

건물의 내부 등 제한된 지역에 구성되는 무선 센서 네트워크는 노드의 위치를 지정해 줌으로서 최적의 성능을 이끌어 낼 수 있다. 본 논문에서는 SOFM을 센서 노드 배치에 적용함으로써 최적의 위치를 찾아내는 시뮬레이션을 수행하였다.

센서 노드의 통신 범위는 채널 모델링을 통해 얻어진 20m로 하였고, 센서 노드의 개수는 전파 범위 조건을 이용한 학습을 통해 구해진다.

그림 6과 같은 건물을 모델로 하여 그림 7과 같이 센서 노드가 배치 가능한 위치 좌표를 랜덤하게 생성하고, 학습을 통해 전파 범위가 건물을 포함하게 되는 센서 노드의 최적 위치를 찾아내도록 하였다.

SOFM은 입력 뉴런의 개수는 2개로 하였고, 센서 노드가 위치할 좌표를 입력으로 한다. 학습율은 0.9에서 학습이 진행됨에 따라 감소하도록 설정하였다. 연결강도의 초기값은 [0,1] 사이의 임의의 값으로 하였으며, 학습 회수는 1000회로 설정하였다. 시뮬레이션 환경은 P4 3GHz에서 Matlab을 사용하였다. 출력 뉴런의 개수는 학습에 의해 증가되며, 1차원 특징지도(feature map)를 적용하였다.

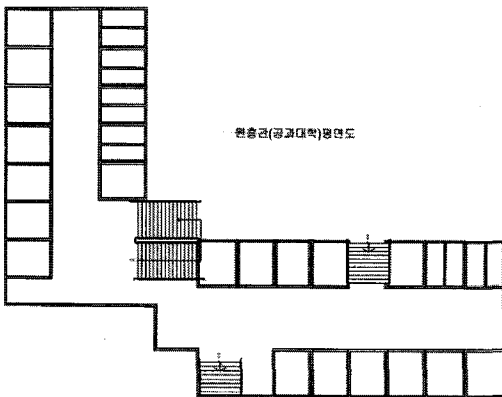


그림 6. 건물의 평면도
Fig. 6. Plane figure.

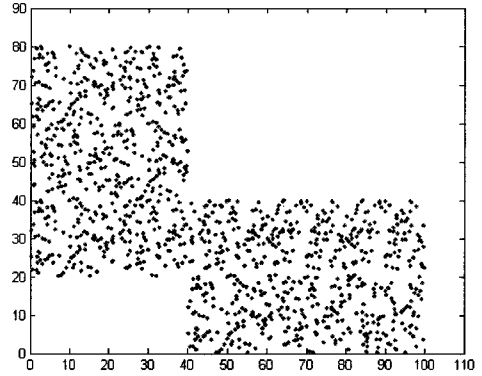


그림 7. 센서 노드의 위치
Fig. 7. Positions of sensor nodes.

학습을 통해 확인한 센서 노드의 개수는 8개일 때 인접한 센서 노드 거리가 전파 범위 안에 들게 되었다. 전파 범위는 그림 8과 같이 나타낼 수 있으며, 그림 4(a)에서처럼 모든 노드가 전파 범위 r 이내에 위치함을 볼 수 있다.

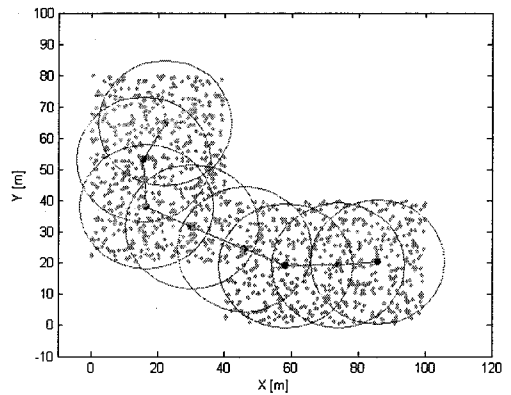


그림 8. 최적의 네트워크 구성
Fig. 8. Optimal network configuration.

2.4GHz 무선 채널 모델을 이용하여 탐색한 최적의 위치에 대해서 이웃 노드 사이의 PRR을 구하면 그림 9와 같다. 8개의 노드가 서로 안정적인 데이터를 송수신하는 경우를 고려하여 PRR이 0.99이상인 노드를 연결하면, 그림 10과 같이 모든 노드가 연결되어 통신이 이루어지는 최적의 위치가 탐색됨을 알 수 있다.

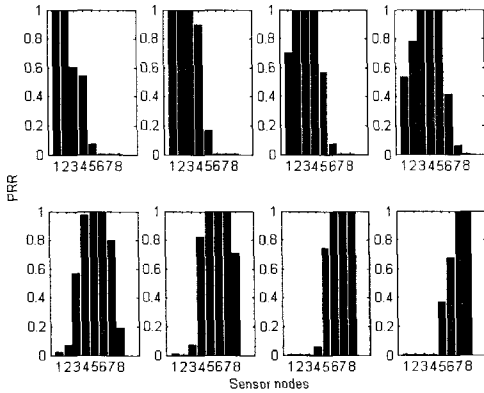


그림 9. 이웃 노드 간의 PRR
Fig. 9. PRR between neighborhood nodes.

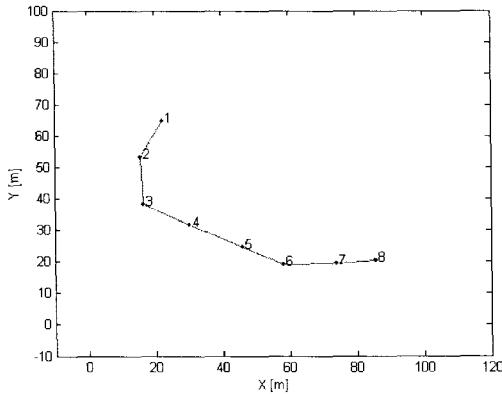


그림 10. 센서 노드의 연결
Fig. 10. Connection of sensor nodes.

V. 결론

본 논문에서는 센서 네트워크의 원활한 통신을 위해 신경회로망을 이용한 센서 노드의 지능적인 배치 방식을 제안하였다. 제안한 방식은 비지도 학습 신경회로망인 SOFM을 이용하여 각각의 센서 노드가 전파 범위에 위치하도록 배치하는 방식으로, log-normal path loss 모델을 이용한 시뮬레이션에서 센서 노드의 전파 범위는 20m로 결정하였으며, SOFM의 클러스터링 특성을 이용하여 센서 노드 배치의 특징지도를 구성하고, 출력 뉴런 사이의 거리가 센서 노드의 전파 범위 이내에 위치하게 출력 뉴런을 증가시키면서 학습을 수행한 결과 노드의 개수는 8개이고, 한정된 공간에 노드의 배치는 적정 개수의 노드만으로 원활한 통신이 가능함을 확인하였다.

참고문헌

- [1] D. Culler, D. Estrin, M. Srivastava, "Overview of Sensor Networks," IEEE Computer, Volume 37, Issue 8, pp.41-49, Aug. 2004.
- [2] Holger Karl, Andreas Willig, Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks, John Wiley & Sons, 2005.
- [3] Feng Zhao, Leonidas Guibas, Wireless Sensor Networks: An Information Processing Approach, Morgan Kaufmann, 2004.
- [4] <http://www.maxfor.co.kr>
- [5] Bernard Sklar, Digital Communications: Fundamentals and Applications, Prentice Hall, 2001.
- [6] Leon W. Couch, Digital and Analog Communication Systems, Prentice Hall, 2001.
- [7] Teuvo Kohonen, Self-Organizing Maps, Springer, 2000.

저자소개



정 경 권(Kyung kwon Jung)

1998년 동국대학교 전자공학과 (공학사)

2000년 동국대학교 전자공학과 (공학석사)

2003년 동국대학교 전자공학과(공학박사)

2005년 3월 ~ 현재 동국대학교 밀리미터파신기술연구 센터 연구원

※관심분야: 디지털 신호처리, 인공지능, 시스템 응용, 센서 네트워크



엄 기 환(Ki Hwan Eom)

1972년 동국대학교 전자공학과 (공학사)

1986년 동국대학교 전자공학과 (공학박사)

2000~2001 Univ. of Canterbury Visiting Professor.

1994~현재 동국대학교 전자공학과 교수

※관심분야: 시스템 응용, 인공지능, 홈 네트워크